



Junio 2013 No.8

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA EL SIGLO XXI

Edificios verdes y cambio climático

De la selva baja caducifolia al cultivo de hortalizas

Microorganismos que controlan el calentamiento global

Sustentabilidad ambiental



VI Simposio de Estudiantes del Instituto de Ecología



8 y 9 de agosto, 2013
Instituto de Ecología, UNAM, México D.F.



Jueves 8 de agosto

10:00-10:50 **Conferencia inaugural**
Duplicación génica: diversificación funcional de genes parálogos
Dra. Alicia González Manjarrez, Instituto de Fisiología, UNAM.

11:00-14:15 **Presentaciones orales**
Estudiantes de doctorado

14:20-16:00 **Receso comida**

16:00-18:20 **Presentaciones en póster**
Estudiantes de maestría y licenciatura



Viernes 9 de agosto

10:00-10:50 **Conferencia invitada**
Relatividad y agujeros negros
Dr. Miguel Alcubierre Moya, Instituto de Investigaciones Nucleares, UNAM.

11:00-14:15 **Presentaciones orales**
Estudiantes de doctorado

14:20-16:00 **Receso comida**

16:00-17:00 **Clausura y premiación**

Diseño s.ramos.castro@gmail.com

¡Ven y conoce nuestros proyectos de investigación!
Consulta el programa en **www.ecologia.unam.mx**
Facebook: Instituto de Ecología, UNAM. Twitter: @IEcologiaUNAM

***Oikos*= es una publicación periódica del Instituto de Ecología de la UNAM. Su contenido puede reproducirse, siempre y cuando se cite la fuente y el autor. Dirección: Circuito Exterior S/N, anexo Jardín Botánico, C.U., Del. Coyoacán, C.P. 04510. México, www.web.ecologia.unam.mx. Cualquier comentario, opinión y correspondencia, favor de dirigirla a: Biol. Gabriela Jimenez C., al Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F., o a los faxes: (52 55) 5616-1976 y 5622-8995. Con atención a: Programa de Difusión del Instituto de Ecología, UNAM.**

La opinión expresada en los artículos es responsabilidad del autor.











Editorial

Alea jacta est

César A. Domínguez Pérez Tejada

Imaginemos que estamos en el año 49 antes de Cristo, en el río que separaba la provincia de la Galia Cisalpina del resto de Italia, cuando ocurrió uno de los acontecimientos más famosos de la historia del imperio Romano. En un acto de enorme significancia, un ejército al mando de Julio César, cruzó el río Rubicón hacia el sur desafiando así la autoridad del Senado Romano. En ese entonces existía una ley que prohibía que cualquier general romano cruzara el río al frente de un ejército, protegiendo así a la república de cualquier amenaza militar interna. Cuando Julio César cruzó el Rubicón no sólo desafió la ley imperante, sino que provocó un inevitable conflicto armado. La decisión de Julio César no fue un acto de espontaneidad, sino que obedeció a una cadena de acontecimientos que acrecentaron sus diferencias con el Senado Romano, y en particular con Cneo Pompeyo Magno, que finalmente desembocó en su audaz decisión. Cuenta la historia que en el momento de cruzar el río, Julio César pronunció la locución latina *Alea Jacta est* o "la suerte está echada" haciendo referencia a que una vez dado ese paso no había marcha atrás. Esta famosa frase ha sobrevivido hasta nuestros días y con frecuencia se usa para denotar una situación riesgosa en la que no hay un punto de retorno y cuyos efectos no pueden ser confirmados.

El escenario que describe la historia anterior es útil para ilustrar, de manera metafórica, la situación que vivimos en la actualidad y reflexionar si como especie, hemos o no cruzado nuestro propio Rubicón. Dado que todo lo que necesitamos para satisfacer nuestras necesidades y sobrevivir depende, ya sea directa o indirectamente de la naturaleza, la historia de la humanidad se ha caracterizado por extraer cada vez más intensiva y extensivamente los recursos naturales del planeta. Durante el siglo pasado y el presente ha habido un acelerado crecimiento económico y poblacional que requieren de enormes cantidades de recursos. La explotación de estos recursos ha tenido a su vez, enormes consecuencias negativas en el ambiente y en diversos aspectos sociales y económicos de nuestras sociedades. Es decir, el desarrollo se ha conducido como si no hubiera límites a lo que podemos extraer del planeta ni consecuencias por hacerlo. Paradójicamente, el gran deterioro ambiental que este esquema de desarrollo ha producido no ha disminuido la desigualdad social ni mejorado las condiciones de vida de muchos estratos de la población. El panorama se complica aún más cuando consideramos el efecto potencial y sinérgico que tendrá el cambio climático en los ecosistemas naturales y los servicios ambientales que sustentan la vida en el planeta.

Este tipo de escenarios, que a veces nos parecen apocalípticos, no son el resultado de una reflexión reciente ni de nuevos hallazgos que de pronto nos abrieron los ojos a esta realidad. Como bien lo señala Julia Carabias en su interesante ensayo incluido en esta entrega del *Oikos*=, la preocupación por este modelo de desarrollo se expresó por primera vez de manera formal en el informe conocido como *Nuestro Futuro Común*, que fuera elaborado para la Organización de las Naciones Unidas en 1987 (¡hace 26 años!) bajo la coordinación de la Doctora Gro Harlem Brundtland, en ese entonces primera ministro de Noruega. En ese informe, se utilizó por primera vez el concepto de sostenibilidad para definir un modelo de desarrollo *"que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras"*. Trece años después, el secretario de la Organización de las Naciones Unidas, Kofi Annan, convocó a más de 1,360 expertos de todo el mundo para elaborar el *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, por sus siglas en Inglés), una iniciativa que buscaba determinar las consecuencias que los cambios en los ecosistemas tendrían para el bienestar humano. Las cuatro conclusiones más importantes de esta evaluación fueron:

FOTO DE PORTADA: Diseño arquitectónico del Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad. Imagen del folleto de presentación.



1. En los últimos 50 años, los humanos cambiaron los ecosistemas más rápida y extensivamente que en cualquier otra época de la historia. Este fenómeno se debe principalmente a la cada vez más intensa demanda de alimentos, agua, madera, fibras y combustibles, que ha resultado en una pérdida sustancial e irreversible de biodiversidad.

2. Aunque los cambios experimentados por los ecosistemas durante este periodo han contribuido al bienestar humano y al desarrollo económico, también han generado costos crecientes que se expresan en la degradación de muchos servicios ecosistémicos, un incremento en el riesgo de cambios no lineales en la dinámica de los ecosistemas y un acrecentamiento de la pobreza para algunos grupos vulnerables de la población mundial. Si estos problemas no se atienden de manera inmediata, los beneficios que las generaciones futuras obtendrán de los ecosistemas disminuirán sustancialmente.

3. La información disponible indica que la degradación de los servicios ecosistémicos podría crecer significativamente durante la primera mitad de este siglo y convertirse en un obstáculo para alcanzar los *Objetivos de desarrollo del Milenio* establecidos por la Organización de las Naciones Unidas.

4. El *MEA* propuso algunos escenarios en los que sería posible revertir, de manera parcial, el proceso de degradación de los ecosistemas y al mismo tiempo satisfacer las crecientes demandas por sus servicios. En el informe se establece que existen muchas opciones que permitirían conservar o aumentar algunos servicios ecosistémicos particulares, ya sea reduciendo los efectos negativos entre diferentes servicios, o incrementando las sinergias positivas. La consecución de esta meta, sin embargo, involucrará cambios significativos en las políticas, instituciones y prácticas relacionadas con el manejo de los ecosistemas, que desafortunadamente están lejos de lograrse.

Han pasado 13 años desde la iniciativa del *MEA* y los retos que enfrenta la humanidad no han disminuido. La población mundial es de aproximadamente 6,000 millones de personas y se espera que alcance los 9,000 millones para el año 2050. Evidentemente uno de los principales problemas será producir suficiente alimento para satisfacer las demandas de la creciente población. El panorama, sin embargo, no es halagüeño. En este momento el hambre crónica ya afecta a 1,040 millones de personas en el mundo y causa 36 millones de muertes anuales (una muerte por segundo). La situación en nuestro país no es mucho mejor. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura reportó que en 2012 México importó 67.9% del arroz que se consumió en el país, 42.8% del trigo, 31.9% del maíz, 8.2% del frijol, 40% de la leche, 53% de la carne de aves, 68% de la carne de res y 78% de la carne de cerdo. Es decir, el modelo vigente de aprovechamiento de los recursos no ha sido capaz de satisfacer las demandas actuales de la población ni ha generado una sociedad más igualitaria. Por otro lado, el esquema actual de desarrollo ha generado un enorme deterioro de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta y aumentado los riesgos de extinción de muchas especies. Por ejemplo, el libro rojo (*Red Book*) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) consigna que 17,291 especies de plantas y animales están en riesgo de extinción, de las cuales 2,583 se encuentran en México (según la norma 059).

Esta breve descripción da una idea, necesariamente incompleta y fragmentaria, de la crisis que enfrenta nuestro planeta y que tiene el potencial de afectar los aspectos sociales y económicos que determinan el bienestar de grandes grupos de la población. Asimismo, señala la inminencia de tomar acciones que reduzcan sus efectos y reviertan los daños que ya hemos causado a los ecosistemas. Las tareas varían desde la acción individual, pasan por las políticas de países enteros y terminan en acciones multinacionales. Con la creación del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, el Instituto de Ecología refuerza su compromiso con el manejo sostenible de los recursos naturales de México. Este laboratorio está concebido como un nodo de interacción académica y sectorial que permita vincular la ciencia con la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas. A pesar de su breve existencia, en su seno se desarrollan proyectos de gran relevancia para el país como el diagnóstico nacional de invasiones biológicas (plantas), ordenamientos territoriales de importantes regiones de México, la evaluación del impacto de las pesquerías en especies en alguna categoría de riesgo e incluso estamos contribuyendo con la construcción de un edificio tecnológicamente amigable con el ambiente que representa una innovación en las construcciones de la UNAM. En este contexto, los investigadores del Instituto de Ecología han desarrollado una larga lista de estudios relacionados con el uso racional de los recursos naturales del país. Este número del *Oikos=* es una pequeña muestra de esos esfuerzos.

La decisión de Julio César de cruzar el Rubicón desembocó en una serie de acontecimientos que culminaron en su (auto) proclamación como *dictatorperpetuusy* eventualmente condujeron a su muerte a manos de los miembros del Senado. En nuestro caso, el del destino de los ecosistemas y el nuestro, espero que aún no hayamos cruzado nuestro propio Rubicón.

Dr. César A. Domínguez Pérez Tejada, director del Instituto, es investigador del Laboratorio de Interacción Planta Animal del Departamento de Ecología Evolutiva. Su trabajo se enfoca en biología evolutiva, en particular en la evolución de la sexualidad de las plantas y las interacciones bióticas.



Edificios verdes y el cambio climático

Alejandra Martínez Canedo

Las emisiones de gases efecto invernadero continua aumentando y no consideramos que un porcentaje importante de estos gases, es consecuencia de las actividades del sector de la construcción. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los edificios son responsables del 40 por ciento de la energía global utilizada y de una tercera parte de las emisiones mundiales de gas efecto invernadero.

Los avances tecnológicos y la especialización industrial han acelerado el proceso de construcción, pero ya es posible hacer más eficiente la operación de las edificaciones. La eficiencia tecnológica compromete el bienestar ambiental debido a que los procesos industriales y la demanda energética generan un alto porcentaje de emisiones de gases efecto invernadero. Así mismo, los insumos que utiliza el sector de la construcción que provienen de otras industrias como cemento, arena, acero, hierro cal, madera y aluminio, también generan diferentes emisiones y degradación ambiental,

En general, el proceso de edificación requiere del uso de combustible fósiles y demanda energética que son de las principales fuentes de liberación de CO_2, ocasionando que todo el sector de la construcción tenga un fuerte impacto ambiental. Con el fin de contribuir a disminuir el impacto que representa el proceso de construcción y cada una de las etapas de operación del inmueble, es decir su ciclo de vida, se deben tomar en cuenta durante el proceso el consumo y la descarga de agua, así como el manejo de los residuos sólidos, la calidad del aire y los materiales de construcción.



Figura 1. El ciclo de vida de un inmueble abarca desde la fabricación de los materiales para la construcción hasta su demolición.

El *ciclo de vida de un edificio* (Figura 1) se refiere al análisis de los procesos de edificación en relación a la sustentabilidad del inmueble. El análisis del ciclo de vida comprende las actividades que se realizan para la producción de un edificio que involucran la fabricación de los materiales, su transporte, la construcción, el funcionamiento del edificio y por último su demolición.

Los promotores inmobiliarios, financieros, arquitectos, ingenieros, administradores; así como los ocupantes y propietarios, son los actores que intervienen en cada una de las fases del ciclo, y sus actividades generan emisiones en la vida útil del edificio. Pero de acuerdo con el PNUMA, la fase del ciclo de vida con mayor producción de emisiones de gases con efecto invernadero es durante el funcionamiento de un edificio. Esto se debe a que el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado, calefacción, iluminación y aparatos electrodomésticos es ineficiente (Figura 2).

Además del impacto ambiental en el proceso de edificación, también es importante valorar las condiciones de habitabilidad del inmueble. El confort y la salud de los usuarios son aspectos que deben de tomarse en cuenta durante el diseño del edificio, ya que influyen en el comportamiento de sus ocupantes. El confort se refiere a las condiciones de bienestar del usuario con respecto al espacio que habita y se estiman con base en parámetros como temperatura, iluminación, aire y acústica (Cuadro 1).

Además, el nivel de confort de los parámetros antes mencionados se relaciona con la salud del usuario. Cuando un espacio no cuenta con una buena iluminación puede producir fatiga visual e irritabilidad, asimismo la exposición al ruido pueden producir estrés y pérdida auditiva y la contaminación de aire al interior de edificio provocar enfermedades respiratorias.

¿Qué es un edificio verde?

Un edificio verde generalmente se refiere a un inmueble en el que se busca disminuir su *huella ambiental* en el total de su ciclo de vida. Esto se logra a través del manejo de residuos, uso responsable de materiales, ahorro de agua y energía, así como ofrecer confort al usuario. Las edificaciones verdes pueden tomar distintas estrategias, pero principalmente se dividen en dos tendencias, el *diseño activo* y el *diseño pasivo*.

El *diseño activo* incluye la incorporación de aquellas



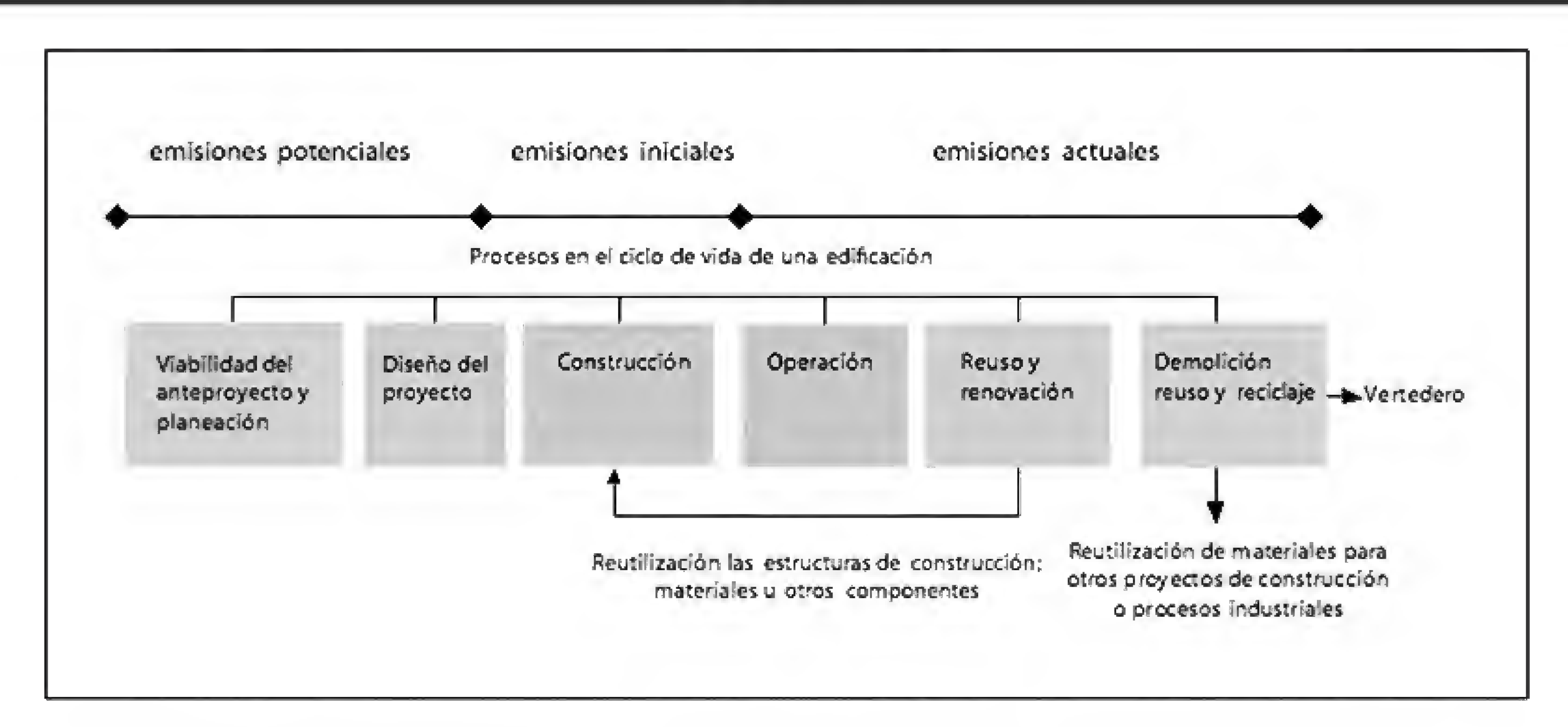
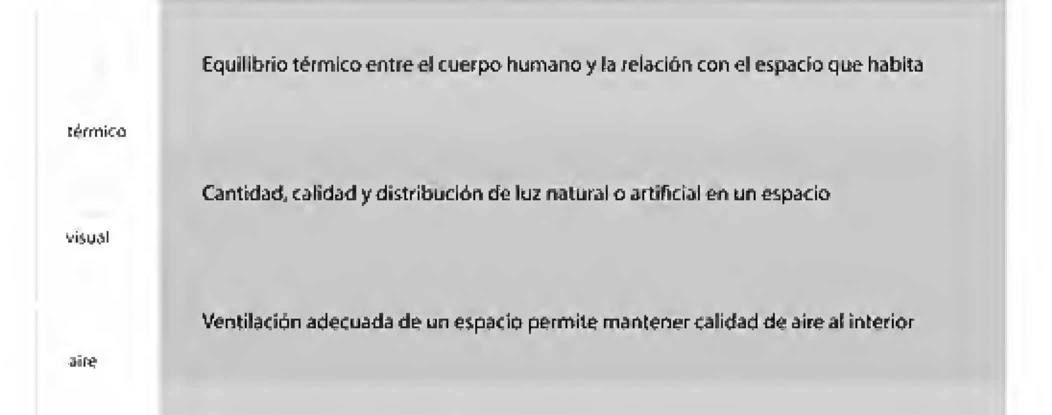


Figura 2. El análisis de las fases del ciclo de vida propuesto por Peter Graham y elaborado porel reporte de Construcción y Cambio Climático, 2010 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Fuente: UNEP 2009.

tecnologías como son las fuentes de energías alternativas que se utilizan para reducir los impactos de producción y consumo de energía de una edificación. Son ejemplos de energías alternativas o energías verdes la solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica, principalmente. En la actualidad la tecnología verde permite sustituir la energía derivada de combustibles fósiles por sistemas como paneles fotovoltaicos, calentadores solares y turbinas eólicas, todo ellos tienen efectos menos contaminantes al reducir las emisiones de gases con efecto invernadero durante el ciclo de vida del edificio.

Por otro lado, la tecnología ha facilitado el consumo energético a través de la *domótica*, también conocida como diseño inteligente (que no hay que confundir con el *diseño inteligente* que invocan tramposamente los creacionistas como contraparte a la selección natural). La domótica se define como la tecnología inteligente utilizada en las edificaciones para controlar y automatizar la infraestructura y los servicios del inmueble, incluidos los consumos energéticos. Así, los servicios que controla la domótica pueden ser la iluminación, calefacción, aire acondicionado, sistemas eléctricos, comunicación y seguridad.

Si bien las energías alternativas y la *domótica* son una buena solución para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, es importante señalar que actualmente la tecnología es muy costosa y su instalación sólo es accesible para cierto mercado inmobiliario. Por lo tanto, ¿qué alternativas económicamente accesibles presentan los edificios verdes para disminuir la liberación de gases con efecto invernadero durante el proceso de construcción y funcionamiento de una edificación?



Cuadro 1. Condiciones de bienestar del usuario en un inmueble.

El *diseño pasivo* es la opción más económica para disminuir los gases con efecto invernadero, porque hace uso de otras herramientas como son el emplazamiento, orientación e iluminación natural del edificio para ahorrar energía. Al análisis de los factores ambientales locales que influyen en el inmueble y afectan a sus usuarios se le llama *bioclimática* y es equivalente a la *arquitectura vernácula*.

Hay que recordar que los edificios verdes y la arquitectura sostenible existen desde el inicio de las civilizaciones. El ser humano se hizo sedentario a partir de que se estableció en un sitio y se adaptó a las condiciones y recursos que tenía disponibles en el ambiente. De modo que, la arquitectura vernácula es un ejemplo de la construcción con materiales obtenidos de la naturaleza, que incorpora la orientación, asoleamiento, ventilación y humedad para conseguir el confort térmico y las condiciones óptimas de habitabilidad.

¿Cómo mitigar los efectos ambientales del sector de la construcción?

La tendencia mundial de edificación busca minimizar el impacto ambiental del sector de la construcción a través del uso eficiente de energía en el proceso de producción y operación del inmueble. Actualmente, distintos organismos internacionales trabajan en la elaboración de estándares y criterios para regular dicho proceso. El objetivo de estos organismos es fomentar la construcción de edificios verdes y reducir las emisiones de gases con efecto invernadero.

Los estándares y criterios de regulación de la construcción tienen la función de evaluar a través de metodologías específicas el rendimiento de una edificación. Cabe señalar, que los organismos encargados de regular y elaborara dichas metodologías y que buscan también hacer eficiente, cómodo y seguro un edificio durante su ciclo de vida, se apegan a las condiciones normativas que rigen su comunidad. Por poner algunos ejemplos, la Unión Europea, Norte América y Australia han desarrollado sus propias instancias, las cuales gestionan los estándares y criterios (Cuadro 2)

Las certificaciones que otorgan las entidades antes mencionadas, se basan en un sistema de clasificación de edificios verdes que a grandes rasgos promueven la eficiencia



LEED, USA, since 2000
Leadership in Energy and Environmental Design

HQE, France, since 2004
Association pour la Haute Qualité Environnementale

DGNB, Germany, since 2008
Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen

BREEAM, UK, since 1990
The Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CASBEE, Japan, since 2001
Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency

Cuadro 2. Ejemplos de oficinas de países de La Unión Europea, Canadá, Estados Unidos y Japón, que se encargan de gestionar los estándares y criterios de construcción sostenible.

energética, conservación del agua, calidad del aire interior, la conservación de materiales y recursos naturales. Cabe señalar que los estándares y criterios que plantean las certificaciones internacionales son ideales para asegurarse de que el desarrollo y operación de un edificio cumpla con los parámetros de arquitectura sostenible. (Figura 3)

Sin embargo, obtener una certificación requiere de una gran inversión inicial poco costeable por lo que tan sólo unos cuantos desarrolladores pueden certificar un edificio. Aún cuando la certificación no es accesible para todos los desarrolladores, sus planteamientos sirven de modelo para que las empresas inmobiliarias adopten estos parámetros de la edificación sostenible en el diseño y construcción de un inmueble.

En México existen distintas iniciativas que colaboran con otros organismos internacionales para trabajar en los programas de certificación nacionales. Por ejemplo, la Iniciativa de América del Norte y el Consejo Mexicano de Edificación Sustentable se han encargado de adaptar los estándares y parámetros del sistema de clasificación de edificios verdes. También distintas instancias gubernamentales han promovido programas de edificación sustentable y la generación de energía alternativa. Un caso concreto es el Programa de Certificación

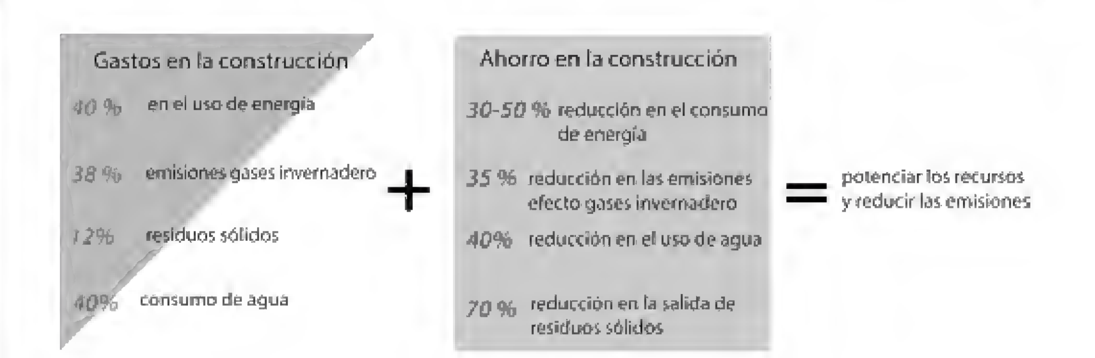


Figura 3. Análisis del gasto y del ahorro energético en el sector de la construcción. Fuente: Diseño de la Edificación y Construcción, 2012, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

de Edificaciones Sustentables (PCES) de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Por su parte, la Universidad Nacional Autónoma de México ha sumado esfuerzos para desarrollar, a través del proyecto del Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad del Instituto de Ecología, el primer edificio en la universidad diseñado con base en los estándares propuestos por la certificación LEED (Cuadro 2). El proyecto arquitectónico integra el *diseño activo* y el *diseño pasivo*, es decir, el edifico fue proyectado para incorporar un sistema fotovoltaico, la automatización de la iluminación a través de sensores de presencia y un sistema de monitoreo que medirá los consumos de agua, electricidad, gas y manejo de residuos. El edificio fue diseñado con el propósito de aprovechar la iluminación y la ventilación natural para ahorrar, en lo posible, la instalación de sistemas de climatización y consumos eléctricos.

Otro aspecto que se planteó fue la recuperación de la fauna y la flora de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. El proyecto de paisaje, propone utilizar el área exterior como un corredor biológico y asimismo, mejorar las condiciones térmicas del inmueble y proporcionar confort visual al usuario.

Finalmente, el sector de la construcción y las etapas del ciclo de vida de una edificación inciden en el medio ambiente y por lo tanto, tienen efectos en el cambio climático. Los edificios verdes son una solución necesaria para optimizar la vida útil de un edificio y minimizar las emisiones de gases con efecto invernadero. Actualmente el mercado inmobiliario está introduciendo las estrategias propuestas por la edificación sostenible pero son pocos los desarrollos inmobiliarios que las llevan a cabo.

Para saber más

- Comisión para la Cooperación Ambiental. 2008. *Edificación Sustentable en América del Norte. Oportunidades y retos.* 37 pp.
- Hernández, C. 2008. *Un Vitrubio Ecológico, Principios y practicas del proyecto arquitectónico sostenible*, GG. Pp. 37-57.
- United Nations Environment Programme. 2012. *Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development.* 29 pp.
- United Nations Environment Programme. 2009. *Building and Climate Changes, Summary for Decision-Makers.* 5 pp.

Alejandra Martínez Canedo estudió en la Facultad de Arquitectura, UNAM. Labora en el Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad y participa en la coordinación de la construcción del nuevo edificio de esta entidad; actualmente trabaja en el diseño del proyecto de paisaje.



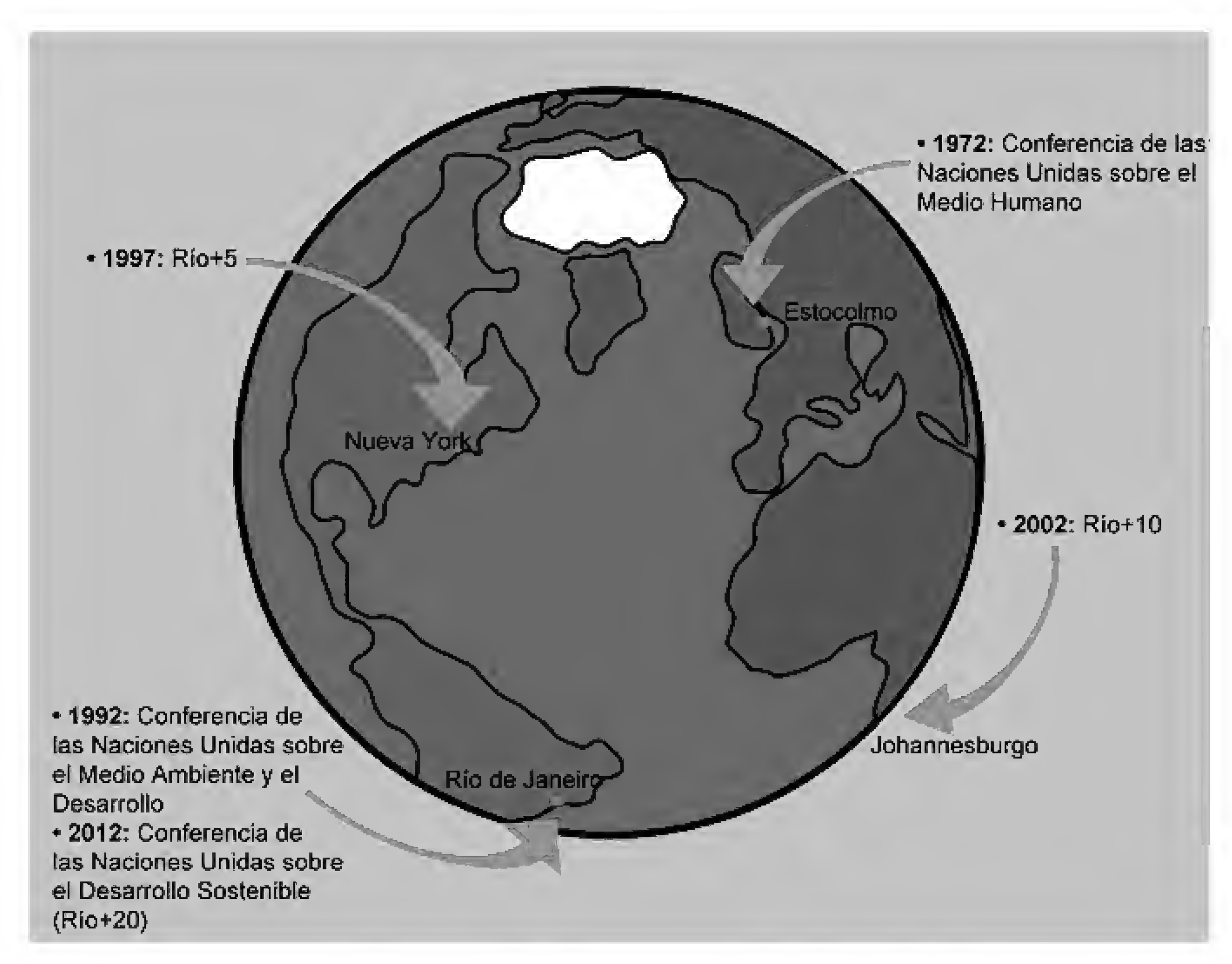
La sustentabilidad ambiental: un reto para el desarrollo

Julia Carabias

Desde que el concepto de desarrollo sustentable quedó acuñado en 1987 en el Informe *Nuestro Futuro Común* y adoptado por cerca de 180 jefes de Estado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro en 1992, sin duda, se han registrado incuestionables avances que reflejan la incorporación de los criterios ambientales en los procesos de desarrollo. En México, como en la mayoría de los países, se crearon instituciones, se promulgaron leyes y se establecieron programas e instrumentos para atender los asuntos ambientales. Sin embargo, también podemos afirmar, que la implementación de un modelo de desarrollo sustentable ha fracasado en todo el mundo y no porque el concepto en sí mismo sea obsoleto -por el contrario, sigue siendo pertinente-, sino, sobre todo, por la falta de voluntad política de los gobiernos, la tendencia a planear considerando sólo el corto plazo en la planeación y la incapacidad de la política económica para incorporar el concepto y asumir sus implicaciones.

A poco más de veinte años de la Cumbre de Río, los compromisos globales de la sustentabilidad ambiental no se han cumplido cabalmente. Los acuerdos multilaterales no pudieron prevenir la peligrosa interferencia antropogénica en los sistemas climáticos y no se estabilizaron las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera; la Convención sobre Diversidad Biológica no pudo detener las tendencias de pérdida de la biodiversidad y sus servicios ambientales. Con respecto a la sustentabilidad socioeconómica tampoco se lograron los objetivos; las desigualdades se han profundizado en las últimas dos décadas y la pobreza no disminuyó como se esperaba.

En México, al menos el tema del cambio climático, aunque con dificultades, logró posicionarse como se discute en *Cambio climático: una reflexión desde México*. No corrieron la misma suerte los demás asuntos de la agenda de la sustentabilidad ambiental: detener la pérdida de la biodiversidad y la degradación de la



Desde 1972 se han celebrado diversas conferencias internacionales sobre el medio ambiente. Estas reuniones han logrado avances que incorporan criterios ambientales en los procesos de desarrollo. Imagen cortesía de UNEP *Tunza Magazine*.



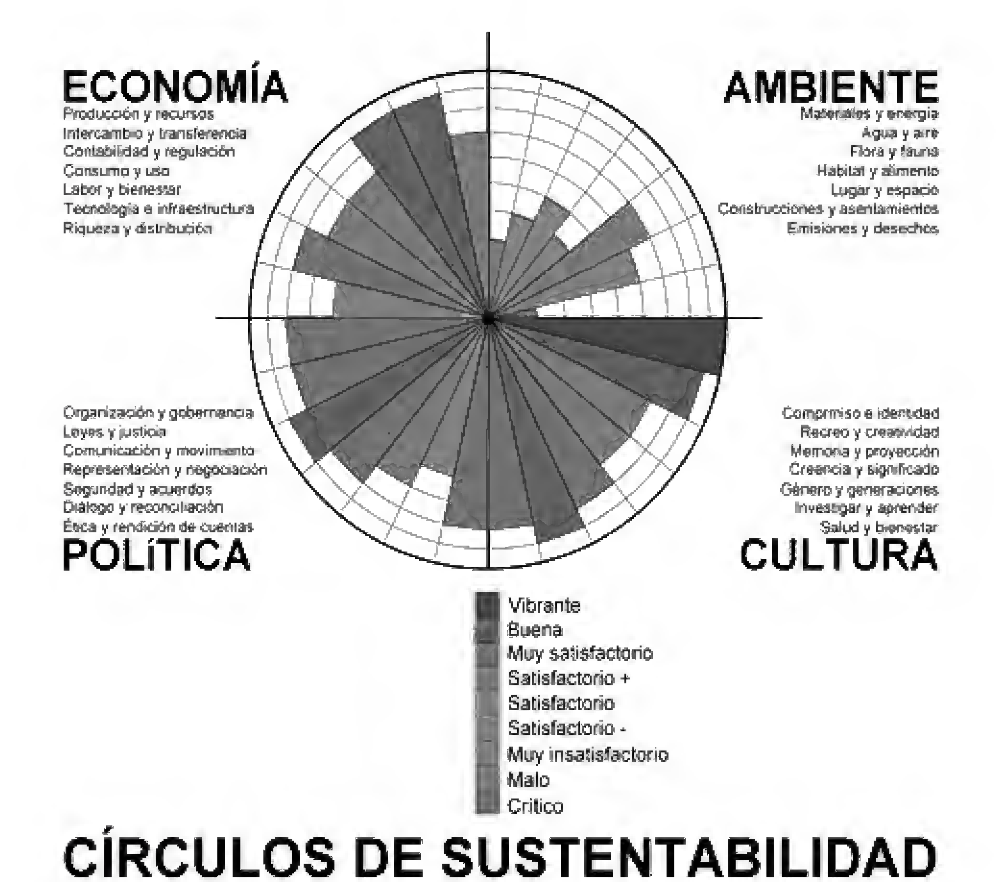
tierra; mejorar el acceso sustentable al agua, en calidad y cantidad; garantizar la seguridad alimentaria y fomentar la agricultura sustentable y la pesca responsable; valorar los servicios ambientales; construir una economía baja en consumo de carbono; disminuir la pobreza y las desigualdades sociales, entre muchos otros.

La lentitud de la respuesta de los gobiernos y de las sociedades no corresponde a la acelerada velocidad a la que ocurren los cambios sobre la naturaleza por causa de la interferencia humana, lo cual impacta la calidad de vida de la población mundial y el propio desarrollo. Como se menciona en *Resilient People, Resilient Planet: a future worth choosing*, el reto sigue siendo erradicar la pobreza, reducir las desigualdades, promover el crecimiento económico incluyente y la producción y consumo más sustentable al tiempo de combatir el cambio climático y respetar otros límites planetarios.

Los impactos del desarrollo

Hoy, mientras que las sociedades del mundo están abrumadas por las crisis económicas, financieras y sociales, la corrupción, el crimen organizado y el terrorismo, el tema del desarrollo sustentable sigue en espera; no se asumen con decisión los principios de éste modelo de desarrollo y tampoco se comprende que, precisamente, es en la implementación de los principios de sustentabilidad en donde radica la solución de fondo y de largo plazo de las diversas y recurrentes crisis.

La globalización, la comunicación y la tecnología son las grandes revoluciones de nuestra era y abrieron inimaginables oportunidades para el desarrollo; sin embargo, también han propiciado el sobreconsumo, incrementando las presiones sobre los recursos naturales. Aunque aún falta mucho por investigar, existe ya la evidencia científica de que el progreso de la humanidad ha ocurrido a un costo muy elevado para el funcionamiento del planeta y para las especies, ya que se están transgrediendo los límites biofísicos que han mantenido estables



Los "círculos de sustentabilidad" son un método para estimar qué tan sustentable es un proyecto. Considera el ámbito social del medio ambiente, economía, política y cultura. El ejempo es de la ciudad de Montreal, Canadá. Fuente: *Global Compact Cities Programme*.

al medio ambiente y a la civilización durante los últimos 10 mil años. En la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* se estima que 15 de los 24 servicios ambientales más importantes que mantienen la economía han sido empujados (forzados) más allá de sus límites de sustentabilidad.

Si no se modifican las tendencias, inexorablemente el problema va a empeorar. Para el año 2050 la población se incrementará alrededor de 3 mil millones de habitantes que demandarán alimentos, agua, materias primas y energía. A este número se deben sumar las cerca de 1,400 millones de personas que actualmente viven en condiciones de pobreza extrema, se encuentran desnutridos y no tienen acceso al agua limpia. Dicho de otra forma: los patrones de consumo y producción actuales que han provocado una alteración sin precedentes al funcionamiento de la naturaleza, incluso, en ocasiones, de manera irreversible, no han podido resolver las necesidades básicas de una quinta parte de la población mundial. En *Desarrollo sustentable y Bienestar Social* explico que, para atender la demanda adicional de otros 4.4 mil millones (los que no han nacido y los que viven en pobreza extrema) se requerirá duplicar la producción de alimentos y triplicar el acceso al agua, lo cual, bajo los esquemas actuales resulta biofísicamente inviable.

Los habitas naturales siguen declinando y por ello se incrementa la pérdida de biodiversidad y sus servicios ambientales; anualmente se deforestan alrededor de 13 millones de hectáreas en el mundo, principalmente en los trópicos. Cerca de una cuarta parte de todas las especies de plantas están en riesgo de extinción, y la extinción es irreversible. Más del 30% de las pesquerías mundiales están sobreexplotadas y los océanos se están acidificando por causa de los agroquímicos, creando amplias zonas muertas. Las emisiones de bióxido de carbono siguen creciendo y, si no cambian las tendencias, entre los años 2020 a 2030 alcanzaremos concentraciones atmosféricas de gases con efecto invernadero peligrosas para el futuro de la humanidad, que afectarán a los cultivos, modificarán los regímenes de precipitación, reducirán la disponibilidad de agua, incrementado la desertificación de los suelos y la frecuencia e intensidad de los desastres naturales provocados por eventos hidrometeorológicos extremos. Como se mencionó en la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* y posteriormente lo han reportado WWF y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la única buena noticia que podemos narrar, es que la capa de ozono está en proceso de recuperación y que regresará a su estado normal entre el año 2060 y 2075.

El daño sobre el capital natural de las naciones se ha justificado indebidamente como parte del costo del desarrollo. Sin embargo, el abuso en el uso de los recursos naturales no condujo a la solución de los problemas sociales, por el contrario, como se menciona en el capítulo *Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad* del libro *Capital natural*, el deterioro ambiental genera pobreza y que, a su vez, ésta incrementa el deterioro. El costo social de un modelo de desarrollo insustentable se expresa en que 27% de la población mundial vive en condiciones de alta pobreza y si bien se registra una mejoría en los índices de pobreza global, ésta se debe principalmente al crecimiento económico en China, sin que en el resto de las regiones exista una mejoría sustantiva; más aún, las hambrunas se han incrementado por causa del aumento de los precios de los alimentos. Además, cerca de 1.5 mil millones de personas tienen empleos vulnerables y las desigualdades sociales se han exacerbado; los países ricos son 13 veces más ricos per cápita

que los países con desarrollo intermedio y 70 veces más que los países pobres. En *Resilient people, resilient planet: A future worth choosing* discutimos que las desigualdades se expresan no solo entre regiones, sino también al interior de los países. En estas condiciones los Objetivos de Desarrollo del Milenio difícilmente se van a cumplir para el 2015, fecha señalada por la Organización de las Naciones Unidas en 2009.

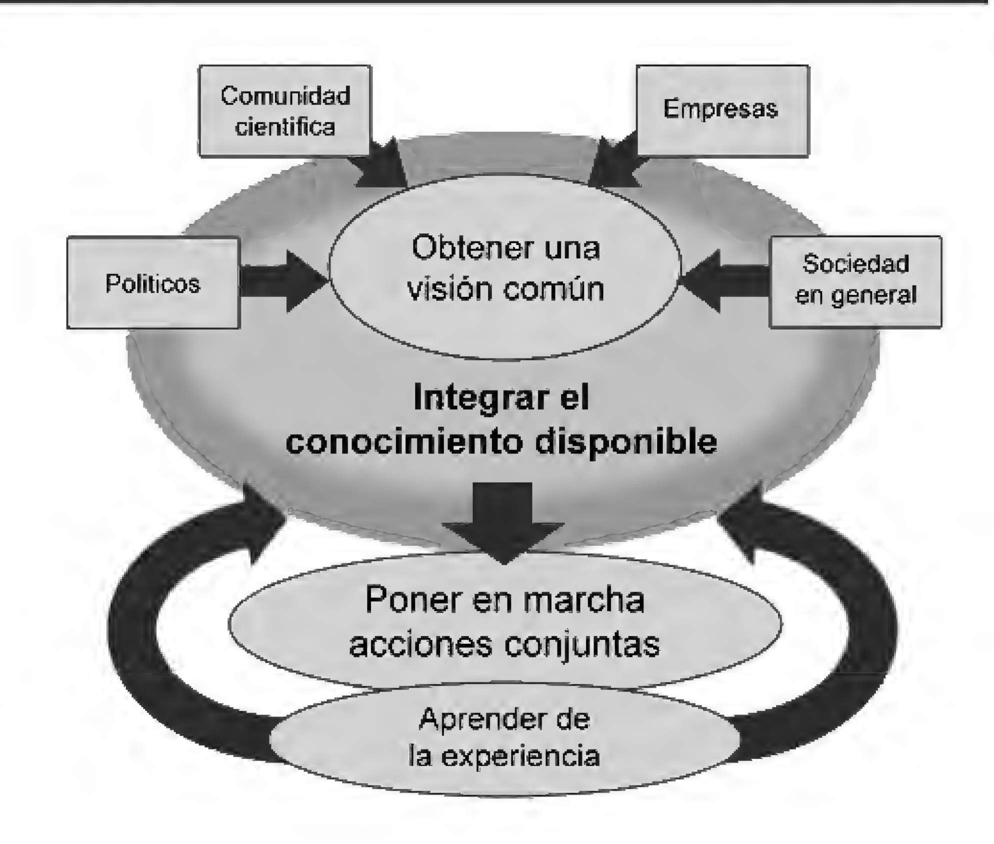
Interacciones, transversalidad, transdisciplina

Entre los aciertos del concepto del desarrollo sustentable cabe resaltar la vinculación que existe entre los factores ecológicos-ambientales, los económicos y el bienestar social. Sin embargo, a pesar de la aceptación del concepto, su puesta en práctica dista mucho de asumir las implicaciones de estas conexiones. Si los problemas se enfocaran desde esta perspectiva, la búsqueda de soluciones se centraría en el conjunto de relaciones que se producen entorno a los recursos naturales para atender las necesidades básicas de la población, desde su extracción, transformación, distribución, acceso, consumo y desecho.

Lamentablemente los sistemas de educación y de investigación históricamente se han orientado a que el razonamiento de las sociedades sea fragmentado, temático y especializado; por lo general, se carece de visiones, métodos e instrumentos que permitan analizar y actuar con una visión integral. Por ello, las soluciones a la pobreza o al deterioro ambiental se han abordado convencionalmente desde una sola perspectiva, segmentada, y sin entender, ni atender, sus interrelaciones. No existen instituciones ni programas adecuados para enfrentar la complejidad e interacción entre los problemas sociales, ambientales y económicos. Cada sector atiende su tema sin tomar en cuenta las repercusiones sobre otros sectores o sus interacciones.

Para lograr la planeación y conducción del desarrollo de una nación hacia la sustentabilidad resulta imprescindible, entre otras cosas, contar con una base sólida de conocimiento científico sobre los procesos económicos, sociales y ambientales que rigen la relación sociedad – naturaleza, así como con tecnología moderna, adecuada y accesible para diferentes condiciones. La ciencia ha dado muchas explicaciones a los problemas complejos, la comprensión de estos es mucho mejor en los tiempos recientes y la base de información y conocimiento es bastante robusta. A su vez, la tecnología, siguiendo los planteamientos científicos, ha elaborado muchas respuestas en biotecnología, genética, computación, eficiencia energética y energía alternativa, y para los servicios básicos.

En México la investigación científica se ha fortalecido de manera muy notable durante el último siglo. La gestación y consolidación de las políticas ambientales nacionales no puede entenderse al margen de la evolución de la ciencia de la ecología en nuestro país y, posteriormente de las ciencias ambientales. La generación de conocimiento que explica los fenómenos del funcionamiento de la naturaleza y su vinculación con los procesos sociales ha sido indispensable para el diseño de dichas políticas y sus instrumentos tales como el ordenamiento ecológico, la evaluación de impacto ambiental, las áreas naturales protegidas, el manejo de la vida silvestre, la valoración de los servicios ambientales, la restauración ambiental, entre muchos otros. Además, la disponibilidad de una sólida base de datos científicos es el mejor soporte tanto para la toma de decisiones de largo plazo, como para la resolución de conflictos en torno al uso de los recursos naturales.



El vínculo: gobierno, empresas, comunidad científica y la sociedad en general, es imprescindible para el desarrollo sustentable. Imagen modificada de www.education4sustainability.org/

Sin embargo, es necesario enfatizar que se ha padecido la escasez de presupuesto y la falta de voluntad de los gobiernos para impulsar la ciencia como un eje de la política nacional. Además, la insuficiencia de enfoques interdisciplinarios no permite, desde las distintas áreas del conocimiento, entender y explicar los sistemas complejos que constituyen las relaciones socioambientales. Es indispensable acelerar, en todos los ámbitos, los procesos que faciliten el entendimiento de los problemas, locales y globales, y la construcción de rutas para su solución integral y transdisciplinaria.

Temas pendientes

Los siguientes son algunos de los temas en los que la ciencia, integrando distintas disciplinas, debe seguir aportando conocimiento y las instituciones incorporándolo en las políticas públicas, para la consolidación de la dimensión ambiental del desarrollo:

- transformación revolucionaria en la forma de usar la energía y las materias primas mediante mecanismos que desacoplen el crecimiento económico de la utilización de estos recursos;
- nueva revolución agrícola para aumentar la producción de alimentos, con innovadoras tecnologías sustentables acordes con cada región ecológica, que consideren los límites adecuados de uso de agua y detengan la conversión de ecosistemas naturales en áreas de cultivo que provocan la pérdida de biodiversidad y la reducción de sumideros de carbono;
- incluir el conocimiento sobre el capital natural y sus servicios ambientales, tanto en lo que respecta a las restricciones como a las oportunidades, en todas las decisiones económicas y en las estrategias de reducción de la pobreza;
- generar nuevos indicadores de bienestar, más allá del limitado Producto Interno Bruto, así como rediseñar instrumentos económicos que permitan a las innovaciones responder a intereses sociales e incluir a la población que no está siendo beneficiada;
- investigar a gran escala sobre los sistemas de la Tierra, los límites planetarios y la sustentabilidad global;



- entender las interacciones entre el cambio climático, la escasez de agua, la escasez de energía, la salud mundial, la seguridad alimentaria.

El fortalecimiento de la investigación científica sobre la sustentabilidad y la construcción de puentes comunicantes entre la ciencia y la toma de decisiones en el diseño de políticas públicas, son un asunto de extrema importancia y urgencia en las agendas nacionales y deben quedar plasmados en nuevos arreglos institucionales y acuerdos sociales.

Como bien concluyeron en 2011 los laureados con el premio Nobel en su 3° Simposium sobre Sustentabilidad Global "en un mundo interconectado y constreñido, en el cual tenemos una relación simbiótica con el planeta, la sustentabilidad ambiental es una precondición para la erradicación de la pobreza, el desarrollo económico y la justicia social".

Para saber más

- Carabias, J. 2012. Desarrollo sustentable y bienestar social. En, Cordera, R. *et al. Diálogo Nacional para un México Social.* Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. 1988. *Nuestro Futuro Común*. Alianza Editorial, Madrid.
- Conabio. 2008. *Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystem and human well-being.* Islandress, Washington, D.C.
- ONU. 2009. *Objetivos de Desarrollo del Milenio.* Informe 2009. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Nueva York. Organización de las Naciones Unidas
- PNUMA. 2010. *Perspectiva Global de la Biodiversidad* (GBO3). Programa de naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi.
- Semarnat. 2012. *Cambio climático: una reflexión desde México.* Semarnat, México.
- Stockholm Memorandum. 2011. *Tipping the scale towards sustainability.* 3rd Nobel Laureate Symposium on Global Sustainability, Stockholm, Sweeden, 16-19 May, 2011.
- UN. 2012. United Nations Secretary-General´s High-level Panel on Global Sustainability. *Resilient People, Resilient Planet: A future worth choosing.* New York: United Nations.
- WWF. 2010. *Planeta Vivo*. World Wildlife Fund.

M. en C. Julia Carabias Lillo. Es profesora de carrera del Departamento de Ecología y Recursos Naturales, de la Facultad de Ciencias, UNAM. Su trabajo se centra en temas ambientales y pobreza y medio ambiente, entre otros. Es autora de diversos libros. Actualmente forma parte de varios consejos directivos y académicos de organismos nacionales e internacionales.



El corte de vara: De la selva baja caducifolia al cultivo de hortalizas

Angelina Martínez Yrízar y Humberto Rendón Carmona

Cientos de millones de personas en el mundo, principalmente de las poblaciones rurales de los países en desarrollo dependen de la recolecta de productos forestales no maderables (PFNM) para obtener alimentos y cubrir otras necesidades de subsistencia básica. Estos productos incluyen plantas y sus partes (exceptuando la madera de aserradero) como hojas, tallos, raíces, frutos y semillas, que cosechan los recolectores para consumirlos o bien para venderlos y de esta forma mejorar sus ingresos. Numerosos productos forestales no maderables también se extraen con fines medicinales y ornamentales, o como materia prima para la elaboración de utensilios, artesanías, máscaras y objetos ceremoniales. Algunos productos se emplean como materiales de construcción; por ejemplo, hojas de palma que se cosechan para construir palapas o tallos de ocotillo para construir cercas. También son productos no maderables de alto valor de mercado las especias o condimentos, como el orégano y el chiltepín, resinas, gomas, ceras como por ejemplo la candelilla y el látex; y son los únicos productos cuyo aprovechamiento en México está sometido a un mayor control y regulación oficial.

En México se reconoce oficialmente el aprovechamiento de 250 tipos de productos forestales no maderables, de los cuales 70 son los más importantes comercialmente. Esta cifra es muy poco realista, ya que estudios de etnobotánica estiman que se utilizan más de 5,000 especies de plantas con diferentes propósitos, por lo tanto, la gran mayoría de estos productos se cosechan sin control y sin contar con un esquema de extracción que mini-mice el impacto ecológico de la cosecha y asegure la extracción sostenida de estos recursos a largo plazo.

Extracción de vara y biodiversidad

Uno de los aspectos más preocupantes asociados con la extracción selectiva de productos forestales no maderables es la pérdida de biodiversidad. Aunque dicha pérdida puede ocurrir gradualmente, el efecto de la extracción selectiva de estos productos puede manifestarse directa o indirectamente de forma inmediata. Un ejemplo del efecto directo de la cosecha es sobre las especies en sí, porque se modifica la densidad de sus poblaciones o se altera su capacidad reproductiva como consecuencia de la pérdida parcial de tejido vegetal. El efecto indirecto en cambio, actúa tanto sobre las especies cosechadas como las no cosechadas ya que, como resultado de la extracción, se alteran las condiciones ambientales del ecosistema: cantidad de luz recibida, disponibilidad de agua y nutrientes del suelo. Todo esto puede repercutir en la germinación de semillas, el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las plántulas, que afectan la dinámica de toda la comunidad vegetal. Es de llamar la atención que estos efectos no sean tomados en cuenta en los criterios de manejo de los productos forestales. Probablemente esto se deba a que en general, se parte de la idea errónea de que el impacto ecológico ocasionado por la extracción de estos productos es más benigno en comparación con el impacto causado por la extracción de madera o el desmonte para establecer pastizales y cultivar la tierra.

En México, un producto forestal no maderable de alta demanda, con poca regulación técnica y muy poco conocido por la mayor parte de la gente, son los tallos de ciertas especies de la selva baja caducifolia, que son recolectados para ser usados como estacas o tutores (los pobladores locales las llaman simplemente varas) en los campos hortícolas. Esta práctica, ampliamente usada en la horticultura, consiste en enterrar las varas a lo largo de los surcos en el campo de cultivo, lo que permite sostener el follaje, ramas y frutos de las plantas cultivadas, y mejorar así las condiciones para el crecimiento de las plantas y el rendimiento de la plantación.



Foto 1. Varas cosechadas de la selva baja caducifolia del estado de Jalisco. Foto: A. Martínez Yrízar.



El corte de vara en México se realiza en áreas de selva baja caducifolia, un tipo de vegetación tropical ampliamente distribuido a lo largo de la costa del Pacífico. Se practica desde 1960 en el estado de Sonora, desde 1970 en Sinaloa y desde mediados de la década de 1970 en Jalisco, aunque el aprovechamiento regulado de vara inició 20 años después. Las especies de la selva baja caducifolia en Sonora y Sinaloa más usadas como tutores pertenecen al género *Croton* (de la familia de la nochebuena) y son agrupadas bajo el nombre común de "vara blanca": *C. alamosanus*, *C. fantzianus*, *C. flavescens*, *C. septemnervius*, *C. reflexifolius* y *C. watsonii*. En el estado de Jalisco, *C. septemnervius*, llamada también "canelilla", es la especie de

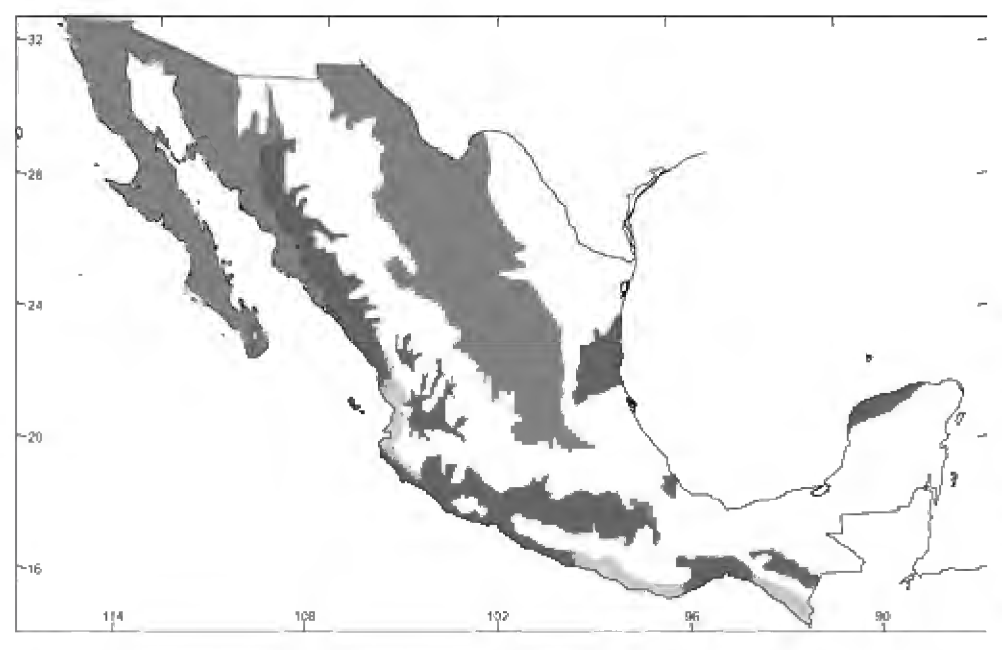


Foto 2. Distribución de la selva baja caducifolia (verde), Desiertos Sonorense y Chihuahuense (amarillo), selvas medianas (azul). Mapa elaborado por A. Burquez).

mayor demanda, aunque también se cortan tallos de al menos 18 especies de plantas leñosas pertenecientes a otros géneros y a otras familias de la selva baja caducifolia. Todas estas especies de *Croton* son muy apreciadas por la dureza de la madera y su resistencia a los hongos y termitas, por lo que tienen una alta demanda en la agricultura para ser empleadas como tutores en el cultivo principalmente de jitomate y uva, en los extensos campos agrícolas de Sinaloa, Sonora y Baja California.

Nuestros estudios realizados en Jalisco indican que el aprovechamiento de vara es una actividad económicamente rentable si la realizan las propias comunidades ejidales. Sin embargo, encontramos que la extracción no es sostenible: aunque la mayoría de los tocones responden al corte produciendo numerosos rebrotes (hasta 60 por tocón), tienen un crecimiento muy lento y tardan de 12 a 15 años en alcanzar la talla comercial (3 cm de diámetro). Además, la gran mayoría no logran sobrevivir después de 5 años. También observamos que esta práctica opera con planes de manejo deficientes que no aseguran la recuperación de las áreas intervenidas. Por ejemplo, cuando el gobierno estatal otorga permisos para cortar vara, no menciona a todas las especies autorizadas por su nombre científico, y en ocasiones hasta las agrupan bajo la definición de "otras comunes tropicales". Esta ambigüedad en la nomenclatura ha conducido a la cosecha indiscriminada de especies proveedoras de vara y ha ocasionado una fuerte presión de extracción sobre este recurso forestal no maderable. Como ejemplo de esto, de las 19 especies de plantas que se cortan en la costa de Jalisco para obtener las varas, únicamente diez cuentan con autorización oficial y nueve se obtienen de forma ilegal. Asimismo, sólo para esta región, en el trienio 1996-1999, se autorizó oficialmente el corte de 874,570 varas en 2,877 ha; un promedio de 304 varas por hectárea. Sin embargo, nuestras mediciones de campo indican que el número de tallos cortados fue mucho más grande, de 990 a 1,910 varas por hectárea; es decir, tres a seis veces más que el número total de varas oficialmente autorizadas para el mismo periodo y superficie.

Otra deficiencia en las regulaciones técnicas para el manejo de la vara es que no toman en cuenta las dificultades que pueden presentar las especies aprovechadas para su regeneración natural, ni las diferencias entre años que pueden ser drásticas en un ecosistema como lo es la selva baja caducifolia sometida a una alta variación de la lluvia año con año. Por ejemplo, la canelilla, *C. septemnervius*, depende de la temporada de lluvias para producir semillas, así como para que germinen, crezcan y sobrevivan las plántulas. En años secos, como lo fue el 2005 en la región de Chamela, Jalisco, encontramos que la producción de semillas viables fue de apenas el 2%, y no hubo germinación ni reclutamiento de plántulas de esta especie en ese año.

En México la extracción de vara para uso hortícola se



Foto 3. Tocón y rebrotes de *Croton septemnervius*. Foto: A. Martínez Yrízar.

ha practicado por décadas, y como lo hemos mencionado, aún no cuenta con un plan de manejo orientado hacia un aprovechamiento sostenible. Esto ha conducido a una drástica disminución en la densidad de las poblaciones de las especies de vara en general. Ante la escasez de madera de especies tradicionalmente usadas como tutores, y ante la permanente demanda de varas en los campos hortícolas del país, los recolectores buscan y sacan la vara de nuevas áreas de selva aún



conservada, a pesar de los impactos asociados con la extracción y que desde hace años se ha implementado el uso de madera de otras especies de más rápido crecimiento como el pino (de plantaciones), el palo de arco (*Tecoma stans*) o el otate (bambú).

En Jalisco también encontramos que la forma como se aprovecha la vara ha ocasionado que sitios cosechados dos veces presenten una menor riqueza de especies de plantas leñosas, con respecto a sitios que fueron explotados una o ninguna vez. También registramos la abundancia de plantas indicadoras de perturbación como *Cnidoscolus spinosus* o "mala mujer". En sitios con este mismo tipo de ecosistema en el sur de Sonora, otros estudios también indican que la estructura de la selva ha sido alterada por las prácticas de cosecha de la vara blanca, *C. fantzianus*, y reportan que cada vez es más difícil encontrar sitios de selva primaria que se caractericen por la abundancia de esta especie.

El futuro de productos forestales no maderables

El aprovechamiento selectivo de productos forestales no maderables es una práctica que se realiza en todo el mundo y debido a que se hace de forma intensiva, la sostenibilidad de la cosecha de muchos de estos recursos de los que depende la gente está en riesgo. Para aumentar la probabilidad de éxito hacia un manejo sostenible de los recursos naturales, el sector forestal y los tomadores de decisiones deben apoyar investigaciones que busquen maximizar el uso productivo, a la vez que se minimice la probabilidad de extinción local de las especies aprovechadas y la pérdida de la integridad funcional de los ecosistemas. Para alcanzar este objetivo es necesario que se entienda mejor la biología y ecología de las especies, así como contar con programas de monitoreo a largo plazo de sus poblaciones. Es también imprescindible que las prácticas de aprovechamiento de productos forestales no maderables estén regidas por regulaciones sencillas y claras, basadas en investigación científica sólida que sea aplicada de manera efectiva. Junto con estas acciones es fundamental promover campañas de educación que informen a la sociedad sobre el valor de los bosques como proveedores no solo de bienes extractivos, sino de muchos otros servicios que son indispensables para la supervivencia humana. Son ejemplos de estos servicios que se derivan de los procesos de los ecosistemas y que son esenciales para la vida en la Tierra, la regulación del clima, la recarga de acuíferos, la formación de materia orgánica del suelo, el control de erosión, y servicios culturales como la belleza escénica y oportunidades para realizar actividades recreativas y educativas para la sociedad en general.

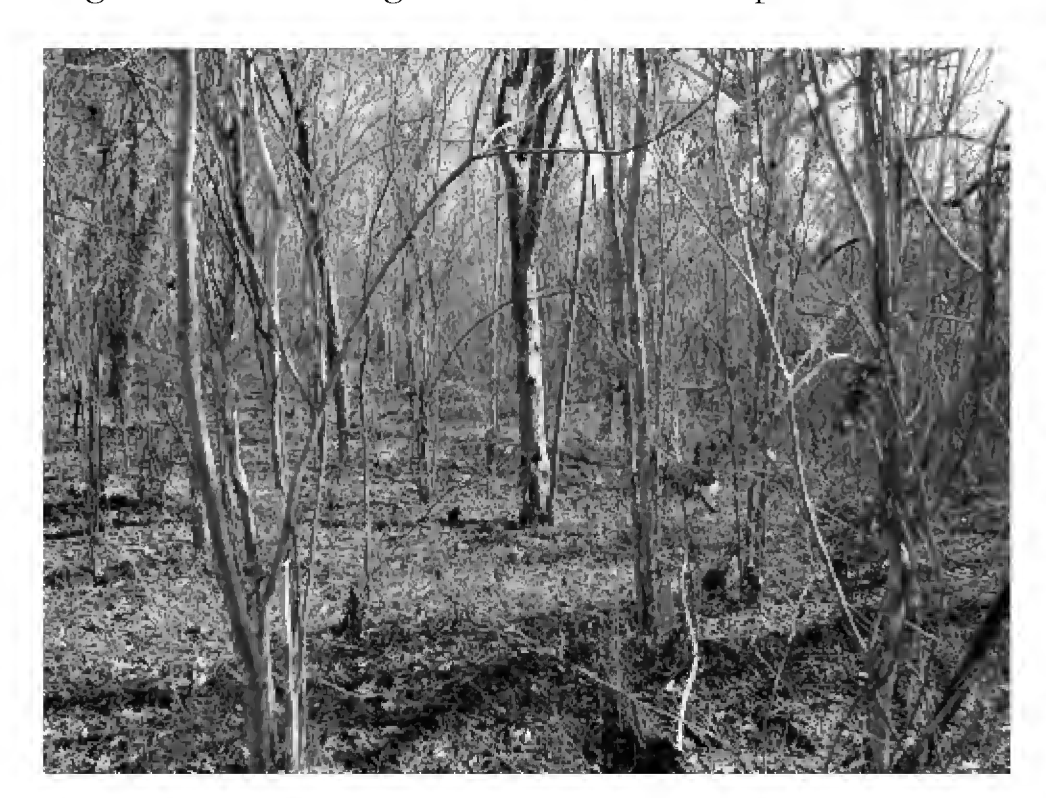


Foto 4. Sitio de selva aprovechado (corte de vara en 2003) en sequía. Foto: A. Martínez Yrízar.



Foto 5. Sitio de selva sin evidencia de corte de vara. Foto: A. Martínez Yrízar.

Para saber más

- Rendón-Carmona, H., A. Martínez-Yrízar, P. Balvanera y D. Pérez-Salicrup. 2009. Selective cutting of woody species in a Mexican tropical dry forest: Incompatibility between use and conservation. *Forest Ecology and Management*, 257: 567–579.
- Rendón-Camona, H., A. Martínez-Yrizar, M. Maass, D. Pérez-Salicrup y A. Búrquez. (Aceptado). La extracción selectiva de vara para uso hortícola en México: implicaciones para la conservación del bosque tropical caducifolio y sus recursos. *Botanical Sciences*.

Angelina Martínez Yrízar es Investigadora Titular B del Instituto de Ecología, UNAM, Unidad Hermosillo. Experta en Ecología de Ecosistemas, especialmente de ecosistemas terrestres limitados por agua. Agradece el apoyo de Enriquena Bustamante y del PASPA-UNAM para una estancia sabática 2011-2012 en la Universidad de Arizona y al PAPIIT-DGAPA por su apoyo al proyecto IN-224610.

Humberto Rendón Carmona es doctor egresado del Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM y Profesor-Investigador de la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Tiene amplia experiencia en el tema del aprovechamiento de recursos forestales no maderables y regeneración natural del bosque tropical caducifolio en México.

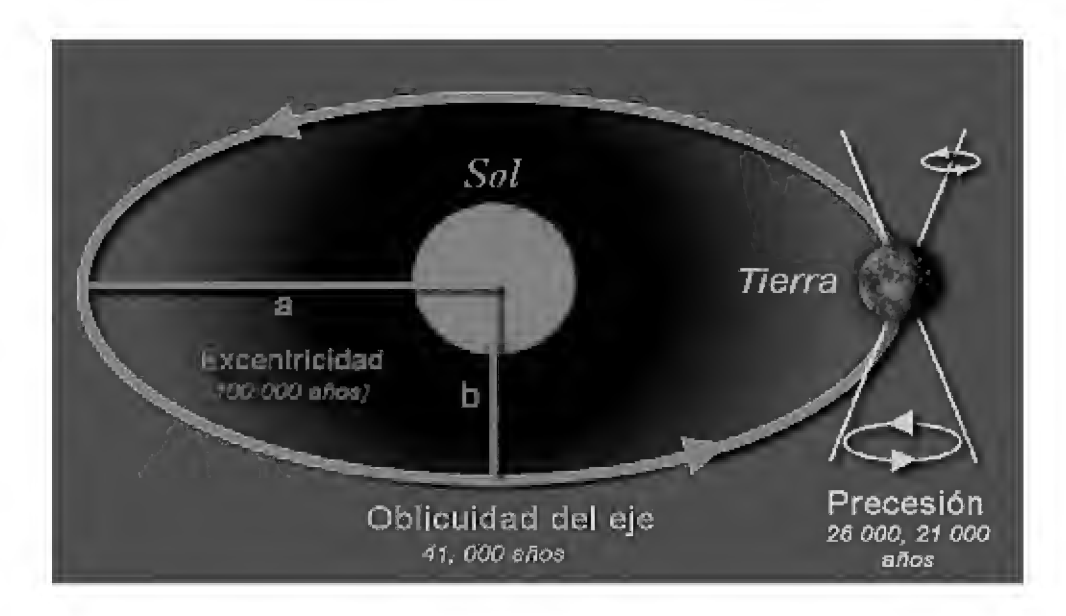


Es posible vivir con diferentes tipos de transporte. Pero no podemos vivir sin comer

Julio Campo

Las evidencias científicas cada día apoyan de manera más clara que las causas del cambio global en el clima se deben a la actividad humana. Desde la revolución industrial, nuestra demanda de recursos y energía ha venido "fertilizando" la atmósfera con gases como dióxido de carbono, óxido nitroso y metano, con consecuencias en el balance energético del sistema climático de nuestro planeta.

Aunque debemos mencionar que se han dado explicaciones alternativas respecto al incremento en la temperatura y otros cambios climáticos. Por ejemplo, se les ha relacionado con los *ciclos de Milankovitch*, que son variaciones en la órbita de la Tierra que afectan la cantidad de radiación recibida con periodicidades de 23,000, 41,000, y 1,000,000 años, y que se correlacionan con los ciclos glaciales e interglaciares. Sin embargo, es una hipótesis cada vez menos sustentada que el calentamiento global que registra el planeta desde la revolución industrial sea principalmente consecuencia de éstos fenómenos naturales cíclicos.



Los ciclos de Milankovitch son variaciones en la órbita de la Tierra que afectan la cantidad de radiación recibida con periodicidades de miles de años. Se correlacionan con los ciclos glaciales e interglaciales. Imagen: *www.commons.wikimedia.org*

Por ello, en la cumbre del clima realizada en Copenhague en 2009 y después de muchos esfuerzos, se llegó a acuerdos respecto al compromiso de crear un fondo con inversión de los países económicamente más fuertes, que estaría destinado a la búsqueda de energías alternativas. Sin embargo, debido a la crisis económica global, que amenaza con intensificarse si la Comunidad Europea y Estados Unidos no otorgan lineamientos que la resuelvan en forma pronto, se han dejado en el olvido los compromisos ambientales de la cumbre del 2009. Por un lado, los fondos de inversión en materia de investigación respecto al cambio climático han disminuido. Por otro, la baja eficiencia y dificultades logísticas para poner en marcha nuevas alternativas energéticas -- como lo son los biocombustibles-- han demostrado que aún estamos lejos de conseguir e implementar alternativas reales al uso de los combustibles fósiles y la energía nuclear. Por ejemplo, la producción de etanol de maíz es insuficiente, cara y éticamente cuestionable cuando hay gente que aún se muere de hambre; el uso de la celulosa es costoso debido a su difícil descomposición, desarrollar biocombustibles de algas es caro y complicado por las dificultades para mantenerlas vivas, y las incertidumbres de bioseguridad dificultan que se popularice el uso de organismos transgénicos para la producción de biocombustibles, etcétera.

Una de los principios más sólidos de que dispone la Ecología como disciplina científica, es la relación entre la distribución global de los grandes biomas y la variación global en el clima del planeta, particularmente en su temperatura media y en la cantidad de lluvia anual. Hace ya más de 30 años, y con base en la información recopilada por el Programa Internacional de Biología (IBP), el investigador alemán Helmut Lieth demostró que la productividad terrestre en cada sitio del planeta puede ser explicada por la temperatura y la precipitación. Por ello, no es de extrañar que tanto la evidencia empírica como los datos generados por modelos asocien el incremento observado en las extinciones de especies con el cambio global y proyecten la intensificación en la tasa de extinción biológica con los cambios en el clima.

Estudiar el cambio

En la búsqueda de posibles escenarios y patrones de pérdida de biodiversidad ante el cambio climatico, un enfoque consiste en analizar en el registro fósil y correlacionarlo con cambios en el clima, y de esta manera hacer inferencias al respecto, particularmente estudiando aquellos momentos de la historia del planeta en que han ocurrido cambios acelerados en el clima. El calentamiento global, cuando es rápido --como ocurre actualmente -- implica consecuencias peores para los organismos que si sucede de forma menos acelerada. Un ejemplo de calentamiento rápido fue hace 56 millones de





Para entender el cambio climático es necesario hacer investigación en los diferentes biomas del planeta, entre ellos las regiones polares. Foto: C. Campo Lupo.

años, fenómeno conocido como Máximo Termal Paleoceno-Eoceno (MTPE). La evidencia fósil indica que se extinguieron organismos marinos y que la mayoría de los terrestres se adaptaron y/o migraron. Sin embargo, el calentamiento actual es dos órdenes de magnitud, o sea ¡cien veces o más rápido! El aumento de la temperatura media durante el MTPE fue de 5ºC después de miles de años, esto quiere decir que la temperatura aumentaba a una tasa de 0.025ºC por siglo. En cambio, la tasa de calentamiento actual se estima que alcanzará entre 2 y 4ºC por siglo. Así, con la información con que se cuenta actualmente, se estima que el aumento de las temperaturas podría ser de 10ºC dentro de 200 ó 300 años. Los modelos y la evidencia actual, indican migraciones de numerosas especies a zonas más frías, pérdidas de hábitats, blanqueo de corales e incremento notable en la tasa de extinción.

También este cambio ha puesto un duro cuestionamiento en nuestros principios bajo los cuales se realizan las prácticas de administración de recursos naturales. Hasta el pasado milenio, la administración de recursos naturales se realizaba bajo el modelo de *integridad ecológica*, reduciendo la probabilidad de disturbios ecológicos y sus impactos, y poniendo como énfasis el cuidado de la estructura de los ecosistemas (por ejemplo, en la densidad de biomasa de plantas o de alguna población de interés particular) y la composición de especies que forman esos ecosistemas. Sin embargo, es preciso señalar que los disturbios (por ejemplo, incendios, inundaciones, huracanes y brotes de plagas) constituyen un control crítico de la estructura y funcionamiento del ecosistema que se pretende administrar. Por otra parte, la restauración ecológica de áreas degradadas y abandonadas, se realizaba bajo el modelo de sistema de *referencia histórico*. Bajo esta perspectiva, se tomaba como referencia o sistema deseable un área presente conservada al que se debería llegar (o parecer) después de la restauración ecológica de un ecosistema.

Es cuestionable la validez de estas referencias bajo condiciones cambiantes, por la incertidumbre de su viabilidad a futuro. Por ejemplo, realizamos la restauración ecológica de un bosque tropical, que generalmente recién luego de 40 años tendría una estructura (y posiblemente un funcionamiento similar) al sistema de referencia actual. Sin embargo, nuestras predicciones indican que el ambiente habrá cambiado (el clima será más caliente, las sequías más prolongadas, e incluso la deposición de nitrógeno desde la atmósfera mayor, que la de hoy en día). Dada la longevidad de los árboles, quizá los efectos de éstos cambios no sean tan drásticos para los individuos adultos, pero sí sus consecuencias para el establecimiento natural de las nuevas plántulas. Los cambios en el renuevo del bosque, tendrán un efecto claro en el funcionamiento del ecosistema, y por tanto en los beneficios que de él obtenemos (conocidos como Servicios ecosistémicos). Las trayectorias de cambio en el clima global, así como la mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos en el clima, exigen un cambio, de modelo en nuestras prácticas, orientado a la búsqueda de sistema resilientes, por tanto sistemas con una mayor capacidad de confrontar los cambios ambientales.

El futuro ante un mundo cambiante

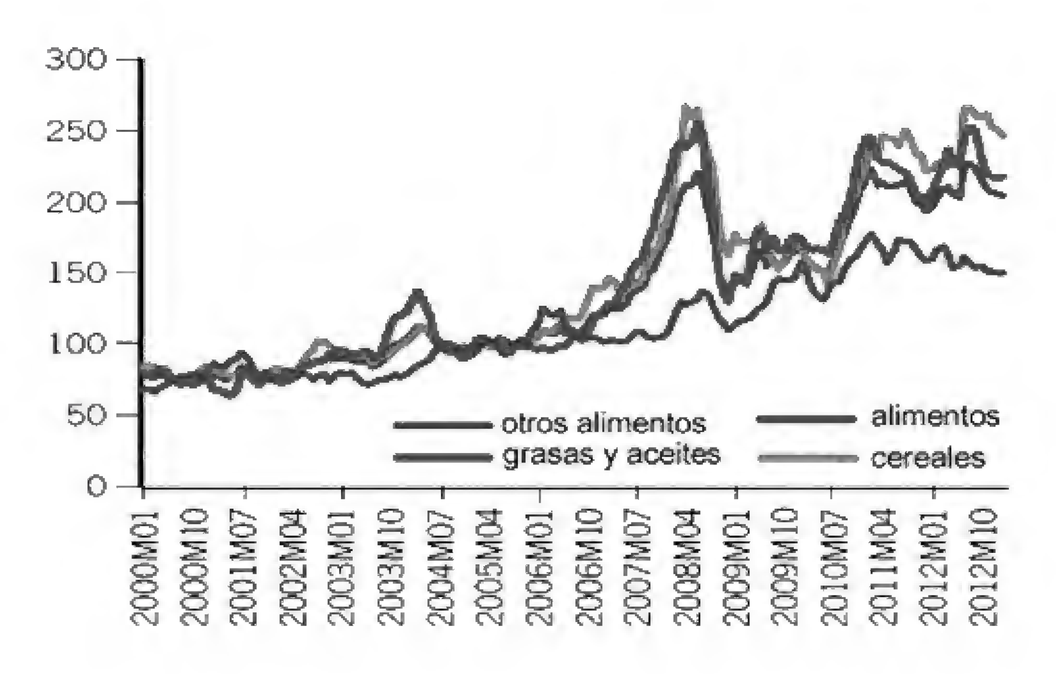
En un mundo cambiante, y con una población que supera los 7 mil millones de personas, y seguirá creciendo, el foco en la administración de los recursos naturales debe estar en la trayectoria de cambio del ambiente. La prioridad, también cambia, y pasa a ser la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos y el suministro de servicios ambientales. La sostenibilidad ecológica no puede estar disociada de la sostenibilidad económica ni de la cultural. Así como una política dirigida a promover la sostenibilidad ecológica a expensas de la comunidad residente no puede ser efectivamente implementada, y menos sostenida. Desarrollos económicos que sacrifiquen o no tengan suficiente información para planificar de forma exitosa la sostenibilidad ecológica a largo plazo también están destinadas al fracaso.

La gestión ambiental del futuro debe estar orientada a estabilizar y amplificar las retroalimentaciones, con el fin de poder maximizar la flexibilidad de los sistemas biológicos para adaptarse a las incertidumbres futuras. Estos cambios en la búsqueda de priorizar sistemas resilientes, con la capacidad para recuperarse luego de un disturbio, comienzan a discutirse en las prácticas y políticas de conservación biológica.



Finalmente, pero quizá de lo más importante, éstos cambios en el clima han incrementado sustancialmente el costo de los alimentos, limitando aún más el acceso a los mismos por una gran parte de la población mundial; actualmente, alrededor de un millón de personas sufren hambre crónica.

La mayor demanda de alimentos, por el incremento de la población actual y futuro (se estima que hacia el año 2050 la población mundial habrá aumentado entre 2,000 y 3,000 millones de personas), también, han puesto en riesgo la seguridad alimentaria mundial (y amenazan con agravar la falta de la misma en México) y el de su calidad de vida, lo que exige la búsqueda de un plan global que permita duplicar la producción, y a su vez reducir los efectos negativos de la actividad humana en el ambiente. Por ejemplo, se deben de reducir las tasas de deforestación y la degradación de tierras, estrategias que contribuyen a limitar el incremento en la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera, y con ello a mitigar el cambio en el clima.



Índice de precios de los alimentos desde enero de 2000 hasta marzo de 2013. La tendencia es hacia un aumento en los precios, con excepción del 2008 que fue un año de crisis. Fuente: Banco Mundial.

Las soluciones futuras a estos problemas ambientales deberán contemplar acciones como el detener la expansión de la agricultura, mejorando el rendimiento de las cosechas actuales y la eficiencia de los recursos aplicados a los cultivos, como lo son los fertilizantes y el agua. También va a tener un efecto importante el reducir los desperdicios, ya que grandes pérdidas de alimentos ocurren desde la producción al consumidor, por selección del producto en granjas, por la eliminación en supermercados de productos valiosos nutricionalmente y en buen estado, pero cuyo aspecto ha cambiado (específicamente se ven feos o marchitos), y el deterioro de alimentos "ocultos" en nuestra despensas y refrigeradores, entre otros.

En el fondo de todo, está claro que no podemos continuar con el modelo actual de consumo de recursos. Este modelo, no solo pone en cuestionamiento la salud del planeta, sino que incrementa la desigualdad y profundiza las diferencias sociales. Comparto la opinión del economista Joseph Stiglizt, Premio Nobel y antiguo jefe del Banco Mundial, que con ello estamos, además, conduciendo al fracaso de la democracia.

Para saber más

- Campo J., M.E. Conti (editores). 2009. *Emisiones de Gases con Efecto Invernadero en Ecosistemas Iberoamericanos*. Sociedad Iberoamericana de Física yQuímica Ambiental, Mundiprensa, Salamanca, España. 310 pp.
- Campo J. 2011. Propuestas para la restauración ecológica ante un clima cambiante. *en*: Vargas Ríos O, Reyes-B SP (editores.). *La Restauración Ecológica en la Práctica*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Pp. 50-54.
- Canadell J.G., C. Le Quéré, M.R. Raupach, *et al.* 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO_2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Science* USA, 104:18866–70.
- Chapin F.S. III, S.R., Carpenter, G.P., Kofinas, C. Folke, N. Abel, *et al.* 2009. Ecosystem stewardship: Sustainability strategies for a rapidly changing planet. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 241-49.

Dr. Julio Campo Alves es investigador titular en el Instituto de Ecología, UNAM. Se especializa en la participación de la vida en la transferencia de los elementos químicos en el planeta. Sus áreas de investigación son la ecología del cambio global y la restauración de ecosistemas terrestres.



¿Microorganismos para controlar el calentamiento global?

Silvia Pajares y Valeria Souza

Los microorganismos, componentes imprescindibles de los ecosistemas

La microbiología ecológica es una rama de la ciencia relativamente joven, ya que apenas lleva 30 años describiendo las comunidades microbianas y entendiendo su complejidad. En este tiempo se ha descubierto que estos pequeños seres no sólo son los organismos más antiguos, diversos y abundantes de la Tierra, sino que además sin ellos no podríamos vivir, porque de su metabolismo depende la salud de nuestro cuerpo y del planeta, al ser los responsables directos de procesos clave en los ciclos biogeoquímicos. La microbiología es una de las áreas de la biología con mayor proyección en el siglo XXI, no sólo por razones médicas, sino por el papel de los microorganismos en los ecosistemas, incluyendo, quizás, la solución al calentamiento global.

En otras palabras: ¡la vida en el planeta depende de los microorganismos! Por suerte, estos organismos unicelulares no están sujetos a presiones políticas o mercantilistas, simplemente siguen las reglas que existían cuando poblaron la Tierra en el "érase una vez…" hace miles de millones de años.

Pero veamos el papel funcional de los microbios en los ecosistemas. Hace poco más de 100 años se descubrió que estos seres "invisibles" son el motor de la vida en la Tierra: se encargan del reciclaje de una gran variedad de elementos y compuestos químicos esenciales para la vida, específicamente del carbono, nitrógeno, azufre, y oxígeno, que son compuestos que los organismos superiores no pueden usar directamente. También son responsables de la degradación de compuestos tóxicos derivados de la actividad humana, como los bifenilos policlorados (PCB, utilizados como aislantes en muchos procesos industriales), dioxinas, pesticidas, etc. Sin estas actividades microbianas, la vida en la Tierra no sería posible. La basura y los desperdicios nos inundarían si los microorganismos no acelerasen la descomposición de las plantas y animales muertos. Además, los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el reciclado de los gases atmosféricos, como los responsables del efecto invernadero, que, paradójicamente, por un lado sustentan la vida en nuestro planeta pero, por otro, debido al aumento global de la temperatura ponen en peligro la propia vida.



Los tapetes microbianos se consideran los ecosistemas autosustentables más antiguos y eficientes de la naturaleza. Tapete microbiano del río Mezquites en Cuatro Ciénegas. Fuente: Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental

Influencia recíproca entre el cambio climático y los microorganismos

El calentamiento global está asociado a las emisiones de bióxido de carbono (CO_2), resultado de la quema de combustibles fósiles por parte del hombre o la respiración aerobia de la muy abundante vida en nuestro planeta. Sin embargo hay otros gases cuyo impacto en el efecto invernadero es mucho más importante que el del CO_2. Uno de ellos es el metano, producto del metabolismo de ciertos microorganismos al digerir la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El otro es el óxido nitroso, que liberan las bacterias del suelo cuando hay un exceso de fertilizantes nitrogenados en el ambiente. Estos son ejemplos claros del papel de los microorganismos en la emisión de gases de efecto invernadero.

El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero en los últimos 150 años, derivado de actividades humanas, está produciendo importantes modificaciones en el clima. Y estos cambios están alterando la composición y el funcionamiento de los ecosistemas, así como los bienes y servicios que prestan. Sin embargo, debido a que los modelos climáticos no han tomado en cuenta el papel de los microorganismos -- tanto en la captura de CO_2 como en la producción de metano u óxido nitroso --, se reduce su capacidad de predicción. Es por esto que el desarrollo de técnicas moleculares, que nos ayudan a conocer la diversidad, e incluso la abundancia de gremios funcionales particulares de microorganismos en cualquier ecosistema, es fundamental para entender el destino del planeta y posiblemente cambiar su curso mediante estrategias para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Aunque no sabemos cuáles son las consecuencias en las comunidades microbianas del cambio climático, se ha estimado



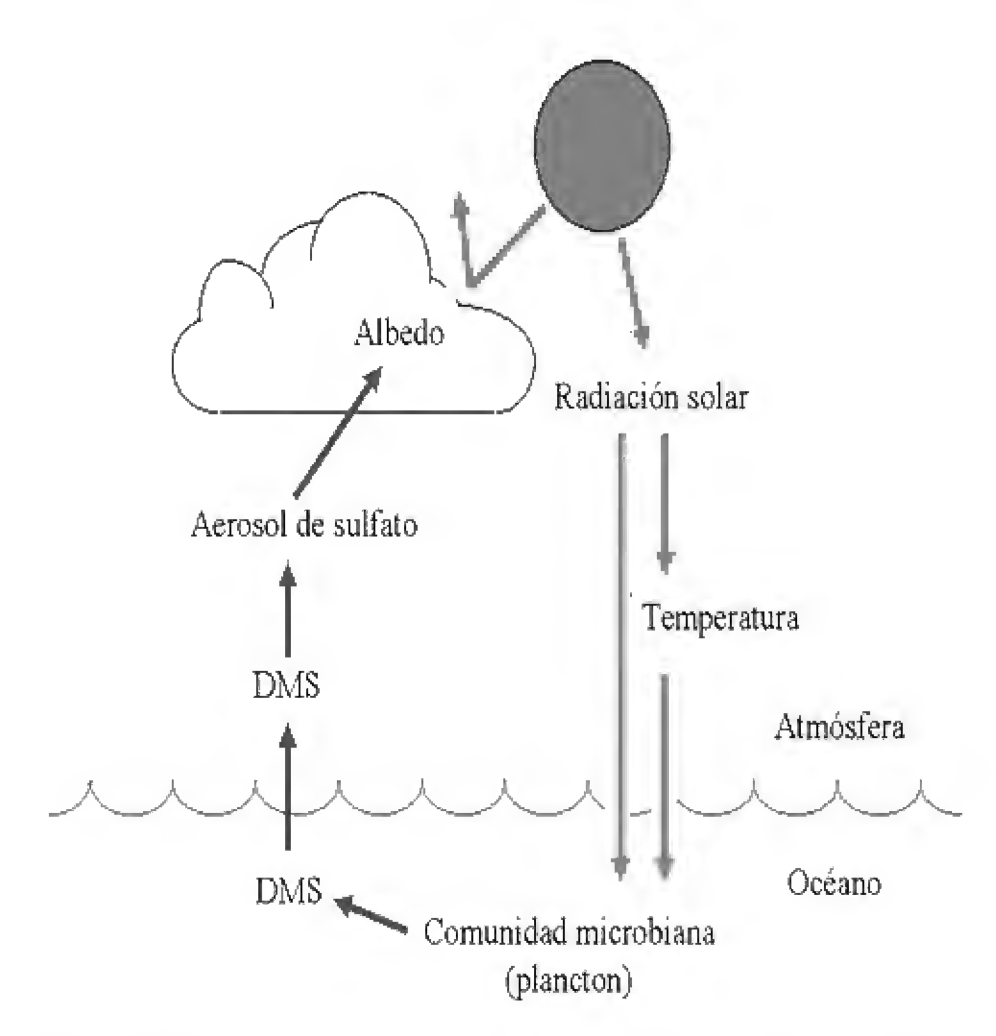
que el aumento de la temperatura puede mover el rango epidemiológico de varias enfermedades asociadas a climas más cálidos. Asimismo, la superficie de los océanos, por el sólo hecho de aumentar su temperatura en un par de grados, se convierte en caldo de cultivo en el que pueden proliferar distintas bacterias, incluyendo algunas tan peligrosas como *Vibrio* -- que es la responsable de intoxicaciones alimentarias, gastroenteritis y el cólera -- o cianobacterias, un tipo de bacterias fotosintéticas, que liberan toxinas que afectan a la salud humana, causando daños en el sistema nervioso, dermatitis o alergias.

El calentamiento del planeta también está produciendo cambios importantes en las comunidades que forman los tapetes microbianos del Ártico y la Antártida. Estos tapetes son las comunidades biológicas más importantes en las zonas polares, porque acumulan la mayor diversidad de organismos y cubren extensas zonas libres de hielo durante los cortos veranos polares. El aumento de la temperatura está ocasionando un aumento de cianobacterias productoras de toxinas, que destruyen los tapetes. Los efectos de estas toxinas son letales para los organismos que habitan estos microecosistemas: virus, otras bacterias, protozoos, hongos, gusanos nemátodos, todos ellos microscópicos, que se alimentan de las cianobacterias y desempeñan un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos globales. Las consecuencias del cambio climático sobre estas comunidades microbianas pueden tener importantes repercusiones sobre el funcionamiento de otras zonas del planeta y en la regulación del clima de la Tierra.

Pequeños organismos, ¿grandes soluciones?

Hay dos claros ejemplos de cómo estos pequeños seres nos ayudan a combatir el cambio climático. Uno de ellos son ciertos microorganismos planctónicos (que se encuentran en la superficie de los océanos), que participan en la regulación de la temperatura del planeta liberando al aire un compuesto orgánico: el sulfuro de dimetilo, que en adelante llamaremos DMS, responsable también del característico olor a mar. En la atmósfera, la radiación ultravioleta descompone el DMS, formando aerosoles que se acumulan en las nubes, las cuales impiden que llegue la radiación a la superficie terrestre. El resultado es una disminución de la temperatura atmosférica de 3-4 ºC. Pero ¿por qué las bacterias liberan DMS? En las algas unicelulares del plancton hay propionato de dimetilsulfonio (DMSP), que es un compuesto que usan las algas como regulador osmótico frente a la sal del agua de mar. Cuando las algas mueren liberan el DMSP, que es aprovechado por las bacterias para obtener energía y nutrientes. Lo que sobra es el DMS, que va a la atmósfera, siempre y cuando el ecosistema marino este sano. Cuando hay un exceso de materia orgánica, por ejemplo la que proviene de los ríos que arrastran residuos -- como fertilizantes, desechos industriales y aguas fecales --, se generan zonas muertas donde se produce mucho CO_2 y no se libera DMS.

Por otra parte, como respuesta a la producción de metano, están las bacterias *metanótrofas*, que lo consumen en forma natural y que son abundantes en muchos ecosistemas, incluyendo la superficie de las hojas. Sin duda, sino existieran estas bacterias, el metano presente en el fondo del mar y de los pantanos saldría a la superficie, causando un cambio climático inmediato, seguramente muy superior al que está causando la actividad humana desde hace más de un siglo.



Las bacterias de los océanos participan en la regulación del clima mediante la producción de compuestos del azufre que favorecen la formación de nubes. Imagen: S. Pajares.

La pérdida de microorganismos en Cuatro Ciénegas

El valle de Cuatro Ciénegas se localiza en Coahuila y es considerado uno de los humedales más importantes de México y del mundo. El valor de Cuatro Ciénegas está en su diversidad biológica y en la historia geológica y evolutiva que nos cuenta, ya que en sus acuíferos, en medio del desierto habitan microorganismos marinos que han sobrevivido a todas las grandes extinciones. Para nosotras, Cuatro Ciénegas es como una especie de "máquina del tiempo" para "viajar" al Jurásico y al Precámbrico y para entender el planeta que habitamos.

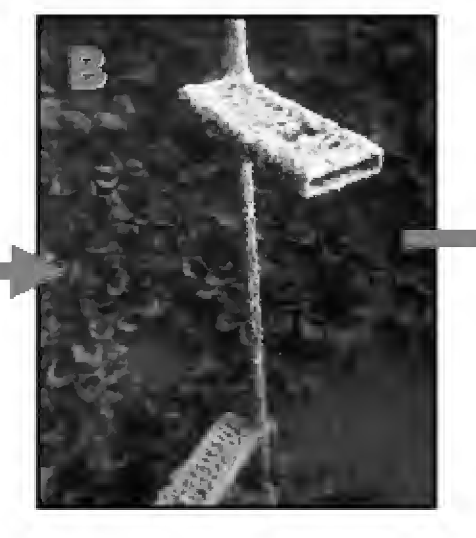
En este valle se han mantenido vivos y activos los organismos que transformaron a nuestro planeta en uno habitable y que llevan reciclando los átomos que nos dan la vida desde hace millones de años. Estos organismos forman comunidades bacterianas complejas, tanto tapetes microbianos como estromatolitos -- que son tapetes bacterianos endurecidos, parecidos en su forma a los arrecifes --, que son similares a los



Estromatolitos en la Poza Azul II de Cuatro Ciénegas. Fuente: Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental.









Experimento de cambio climático con estromatolitos sintéticos de Cuatro Ciénegas en mesocosmos. A: Poza Azul; B: "Atrapa-estromatolitos" en las pozas; C: Experimento de mesocosmos. Fuente: Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental

fósiles más antiguos que se han encontrado.

Al principio de la vida en la Tierra, estos estromatolitos eran comunidades autosuficientes capaces de realizar las tareas fundamentales para el sostenimiento de la vida, los ciclos biogeoquímicos, para los que ahora se requiere la participación del planeta en su totalidad. Es muy difícil poner al planeta en una pecera y simular las condiciones ambientales del futuro y del pasado. Pero sí podemos meter un paquete microbiano en una pecera, generar estromatolitos sintéticos y, reproduciendo ciertas condiciones, poder responder a la pregunta de cómo fue el funcionamiento del planeta en el pasado y cómo sería en el futuro si aumentara la temperatura o la radiación ultravioleta. Con las herramientas de biología molecular hemos estudiado con cuidado los cambios en nuestras comunidades experimentales como respuesta a estas presiones ambientales y, de este modo, poder buscar soluciones metabólicas para poder desacelerar, y tal vez revertir, el desastre ambiental que estamos por atestiguar en la primera mitad el siglo XXI. Nuestros resultados sugieren que el impacto a largo plazo de estas presiones ambientales produce una fuerte disminución de la diversidad de las comunidades microbianas de este antiguo ecosistema. Por lo tanto, es posible que el oasis de Cuatro Ciénegas sea más frágil a los cambios ambientales inducidos por el hombre de lo que se esperaba.

Los interesados en estos resultados experimentales, los invitamos a consultar los artículos científicos que citamos en la sección "Para saber más".

Para saber más

- Pajares, S., G. Bonilla-Rosso, M. Travisano, L. E. Eguiarte y V. Souza. 2012. Mesocosms of aquatic bacterial communities from the Cuatro Cienegas basin (Mexico): a tool to test bacterial community response to environmental stress. *Microbial Ecology*, 64: 346-358.
- Souza, V., J. Siefert, A. E. Escalante, J. J. Elser y L. E. Eguiarte. 2012. The Cuatro Cienegas Basin in Coahuila, Mexico: an astrobiological Precambrian park. *Astrobiology*, 12: 641-647.
- Peimbert, M., L. D. Alcaraz, I. Hernandez, G. Olmedo, F. García-Oliva, L. Segovia, G. Bonilla, L. E. Eguiarte y V. Souza. 2012. Comparative metagenomics of two microbial mats at Cuatro Cienegas Basin I: Ancient lesson on how to cope in an environment severe environmental stress. *Astrobiology*, 12 (7), 648-658.

Silvia Pajares es Licenciada en Ciencias Ambientales y doctorada en Ciencias por la Universidad de Salamanca (España). Le interesa la ecología de comunidades microbianas y su relación con los ciclos biogeoquímicos y el cambio climático global. Hizo su postdoctorado en el laboratorio de Evolución Molecular y Experimental (2009-11), donde sigue colaborando con la Dra. Valeria Souza. En la actualidad está realizando una estancia de investigación en el laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima con el Dr. Julio Campo.

Dra. Valeria Souza. Es investigadora titular C del Instituto de Ecología de la UNAM. Estudió toda su carrera en la UNAM y su interés es la ecología evolutiva de los microorganismos. Ha ganado diversos premios nacionales.







Junio 2013 No.8

Contenido